

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sub Daerah Aliran Sungai

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 38 tahun 2011 definisi sungai adalah alur atau wadah air alami dan/ atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan. Kemudian DAS (Daerah Aliran Sungai) didefinisikan sebagai suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Daerah di mana sungai memperoleh air merupakan daerah tangkapan air hujan yang biasanya disebut daerah aliran sungai. Dengan demikian, DAS dapat dipandang sebagai suatu unit kesatuan wilayah tempat air hujan mengumpul ke sungai menjadi aliran sungai (Asdak, 2004). Sedangkan pengertian sub DAS apabila ditinjau secara terminologinya dapat diartikan sebagai bagian yang lebih kecil dari DAS yang menampung, menyimpan, dan mengalirkan air hujan melewati anak sungai ke sungai utama.

2.2 Jaringan Pos Hujan

Dalam menentukan banyaknya jumlah hujan yang jatuh pada suatu daerah dibutuhkan pos hujan dengan hasil data hujan yang akurat. Akurasi data hujan tersebut dapat diperoleh apabila jumlah dan penyebaran pos hujan dapat benar-benar merepresentasikan besaran hujan pada daerah tersebut. Data hujan harus dikumpulkan dan diobservasi dengan baik agar dapat memberikan informasi besaran hujan yang tepat.

Kerapatan jaringan adalah jumlah stasiun hujan tiap satuan luas di dalam DAS. Untuk mendapatkan hasil yang dapat dipercaya, stasiun pencatat hujan harus terdistribusi secara merata. Selain itu jumlah stasiun hujan yang dipasang di dalam DAS jangan terlalu banyak yang berakibat mahal biaya, ataupun terlalu sedikit yang menyebabkan hasil pencatatan hujan tidak dapat dipercaya (Triamodjo, 2008)

Satu set stasiun hujan dapat disebut sebagai jaringan (*network*) bila terdapat keterkaitan (*coherence*) observasi dalam tingkat tertentu dari kejadian-kejadian (*phenomena*) yang diukur. Keterkaitan tersebut akan meningkat seiring dengan

meningkatnya kerapatan jaringan. Pengertian “daerah pengaruh” (*sphere of influence*) digunakan untuk menunjukkan keterikatan atau korelasi dengan salah satu kejadian yang diamati di salah satu stasiun dalam daerah tersebut (Harto, 1989, p.25).

Kerapatan jaringan (*network density*) dinyatakan dalam satu stasiun tiap luas tertentu. Dalam merencanakan jaringan, terdapat dua hal penting yang perlu dipertimbangkan, yaitu:

1. Berapa jumlah stasiun yang diperlukan
2. Di mana stasiun-stasiun tersebut akan dipasang

Hal tersebut diperlukan karena dalam jaringan stasiun hujan, perbedaan jumlah stasiun yang digunakan dalam memperkirakan besar hujan yang terjadi dalam suatu DAS memberikan perbedaan dalam besaran hujan yang didapatkan. Selain itu pola penyebaran stasiun hujan dalam DAS yang bersangkutan juga ternyata mempunyai pengaruh yang nyata terhadap ketelitian hitungan hujan rata-rata DAS (Harto, 1989, p.28-29).

Jaringan stasiun hujan (*rainfall network*) harus mencakup kerapatan jaringan (*network density*) serta kemungkinan pertukaran datanya. Salah satu cara untuk mengatasi ini adalah dengan penetapan jaringan pengamatan hujan primer (*primary network*) dan jaringan pengamatan hujan sekunder (*secondary network*). Jaringan primer dimaksudkan untuk dipasang dalam jangka waktu lama dan diamati secara teratur dan di tempat yang dipilih dengan seksama. Sedangkan jaringan sekunder dimaksudkan untuk lebih mendapatkan variasi ruang (*spatial variation*) hujan. Jaringan ini dapat ditentukan pada beberapa tempat yang dipilih, yang selanjutnya apabila telah dapat ditetapkan hubungannya dengan jaringan primer, stasiun ini dapat dipindahkan ke lokasi lain. (Harto, 1989, p.32)

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap jaringan pengukuran hujan di antaranya:

1. Sifat hujan
2. Ketersediaan tenaga pengamat yang baik
3. Dioperasikan tersendiri atau dalam kaitan dengan jaringan yang lain
4. Kemampuan keuangan pengelola

Kerapatan jaringan mempunyai pengaruh yang sangat penting dalam ketelitian analisis selanjutnya. Oleh karena itu perencanaan jaringan stasiun hujan sangat perlu dilakukan untuk tercapainya kerapatan jaringan yang optimum dan perolehan informasi yang maksimum dengan ketelitian yang cukup.

2.3 Pos Duga Air

Pertimbangan yang dipergunakan untuk menetapkan kerapatan jaringan stasiun hidrometri (dalam hal ini adalah pos duga air) pada dasarnya sama dengan pertimbangan untuk menetapkan kerapatan jaringan stasiun hujan.

Secara umum stasiun hidrometri perlu dipertimbangkan pada tempat-tempat sebagai berikut (Harto, 1989, p.45):

1. Pada tempat terjadinya perubahan drastis landau sungai
2. Pada tempat-tempat pertemuan sungai
3. Pada tempat-tempat pengambilan air
4. Pada tempat masuknya air dari danau
5. Di tempat yang akan dikembangkan di kemudian hari atau tempat yang dipandang terbaik sebagai lokasi stasiun hidrometri primer

Secara khusus stasiun hidrometri harus dipilih di tempat-tempat yang memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Di bagian sungai yang lurus
2. Di tempat dengan arus air sejajar
3. Di tempat dengan penampang sungai yang stabil
4. Bebas dari pengaruh *back water*
5. Di bagian sungai yang cukup peka
6. Dapat didatangi setiap saat

Dalam prakteknya keadaan yang disyaratkan tersebut sangat sulit untuk dipenuhi, sehingga terpaksa dilakukan penyesuaian-penyesuaian, dan ditetapkan lokasi terbaik yang ada sesuai dengan tujuannya (Harto, 1989, p.45).

2.4 Analisa Data Hujan dan Data Debit

2.4.1 Estimasi Data Hujan dan Data Debit yang Hilang

Kelengkapan data dari setiap stasiun hujan merupakan keperluan mendasar dalam analisa hidrologi. Kesalahan teknis seperti tidak tercatatnya data hujan dan perubahan kondisi lokasi pencatatan menyebabkan adanya data curah hujan yang hilang atau tidak lengkap. Sehingga untuk melakukan analisa selanjutnya data curah hujan harus dilengkapi terlebih dahulu. Untuk melengkapi data hujan yang hilang dapat dilakukan apabila di sekitar daerah penelitian tersebut terdapat minimal dua stasiun hujan yang lengkap datanya. Selain itu estimasi data hujan hilang dari satu stasiun juga dapat dilakukan jika diketahui data hujan rerata tahunannya.

Dalam estimasi data curah hujan yang hilang dapat dilakukan dengan metode berikut:

▪ *Normal Ratio Method*

Metode rasio normal dapat dilakukan apabila data hujan rerata tahunan pos penakar yang datanya hilang diketahui, terdapat stasiun pembanding dengan elevasi yang tidak jauh berbeda dari stasiun yang diteliti, dan stasiun pembanding memiliki jarak yang tidak terlalu jauh dan memiliki data yang cukup lengkap.

Metode ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Triatmodjo, 2008, p.40):

$$\frac{P_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left(\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \frac{P_3}{N_3} + \dots + \frac{P_n}{N_n} \right) \dots\dots\dots (2-1)$$

Dengan:

P_x = hujan yang hilang di stasiun x

P_1, P_2, P_3 = data hujan stasiun di sekitarnya pada periode yang sama

N_x = hujan tahunan di stasiun x

$N_1, N_2, \dots N_n$ = hujan tahunan di stasiun sekitar x

n = jumlah stasiun hujan di sekitar x

▪ *Reciprocal Method*

Metode ini memperhitungkan jarak antar pos stasiun hujan (L_i) sebagai faktor koreksi. Hal ini dapat dimengerti karena korelasi antara dua stasiun hujan semakin kecil dengan semakin besarnya jarak antar stasiun tersebut. Metode ini juga dapat digunakan apabila dalam DAS tersebut terdapat lebih dari dua stasiun hujan. Umumnya dianjurkan untuk menggunakan paling tidak tiga stasiun acuan (Harto, 1989, p.70).

Metode ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Triatmodjo, 2008, p.40-41):

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{L_{1i}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_{1i}^2}} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dengan:

P_x = hujan yang hilang di pos x

P_1 = data hujan di pos sekitarnya pada periode yang sama

L_1 = jarak antara pos hujan i dengan pos hujan x

Sedangkan dalam estimasi data debit yang hilang dapat dilakukan dengan metode berikut:

- Analisa Regresi

Metode ini dilakukan dengan menghubungkan antara data debit dan data hujan untuk mengisi data hujan yang hilang. Selain persamaan regresi, analisa regresi juga menghasilkan nilai R^2 serta R. Nilai tersebut menunjukkan besarnya pengaruh atau besarnya hubungan korelasi. Penggunaan analisa regresi dalam pengisian data debit ini dapat dilakukan apabila nilai korelasi (R) kuat atau lebih dari 0,6

- Markov

Metode ini merupakan salah satu metode pembangkitan data sintetik. Metode Markov dilakukan dengan menggunakan model auto-regresif tahunan. Berikut merupakan rumus Markov-Chain dengan model yang paling sederhana (Soewarno, 1995, p.115):

$$X_i = \Gamma (X_{i-1}) + (1 - \Gamma) \bar{X} + (S) (t) (1 - \Gamma^2)^{0.5} \dots \dots \dots (2-3)$$

Keterangan:

X_i = debit tahunan pada tahun ke-t

X_{i-1} = debit tahunan pada tahun ke t-1

\bar{X} = debit rerata tahunan dari pengamatan

S = deviasi standar dari pengamatan

Γ = koefisien Markov-Chain, nilainya berkisar antara 0,20- 0,30, umumnya digunakan nilai 0,25

t = variat acak dari distribusi normal dengan rata-rata 0 dan deviasi standar =1

- *Normal Ratio Method*

Metode *Normal Ratio* untuk mengisi data hujan yang hilang dilakukan dengan cara membandingkan data debit hilang pada suatu bulan dengan data debit pada bulan yang sama di tahun-tahun yang lainnya. Metode ini dilakukan berdasarkan pemahaman bahwa suatu data memiliki pola nilai yang hampir sama dalam suatu kurun waktu tertentu. Berikut merupakan persamaan yang digunakan dalam mengisi data debit hilang dengan *Normal Ratio Method*:

$$\frac{Q_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left(\frac{Q_1}{N_1} + \frac{Q_2}{N_2} + \frac{Q_3}{N_3} + \dots \frac{Q_n}{N_n} \right) \dots \dots \dots (2-4)$$

Keterangan:

Q_x = debit yang hilang pada bulan x

N_x = debit tahunan pada debit yang hilang

n = jumlah bulan yang memiliki data debit bulanan lengkap

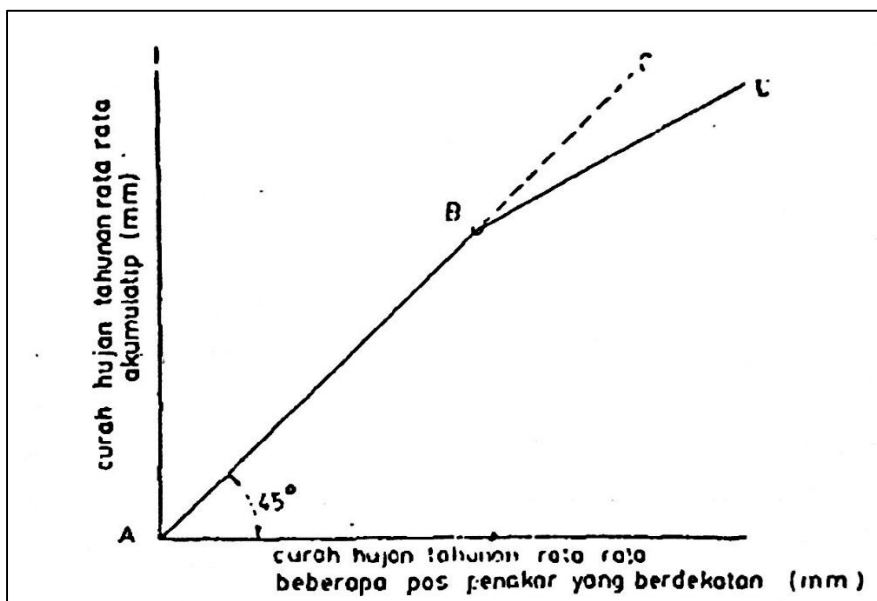
Q_1, Q_2, Q_3 = data debit di bulan yang sama dengan data debit yang hilang

N_1, N_2, \dots, N_n = debit tahunan

2.4.2 Uji Konsistensi

2.4.2.1 Analisis Kurva Masa Ganda

Perubahan lokasi stasiun hujan atau perubahan prosedur pengukuran dapat memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap jumlah hujan yang terukur, sehingga dapat menyebabkan terjadinya kesalahan. Konsistensi dari pencatatan hujan diperiksa dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*). Metode ini membandingkan hujan tahunan kumulatif di stasiun y terhadap stasiun referensi x . Stasiun referensi biasanya adalah nilai rerata dari beberapa stasiun di dekatnya. Nilai kumulatif tersebut digambarkan pada sistem koordinat kartesian x - y , dan kurva yang terbentuk diperiksa untuk melihat perubahan kemiringan (*trend*). Apabila garis yang terbentuk lurus berarti pencatatan di stasiun y adalah konsisten. Apabila kemiringan kurva patah/ berubah, berarti pencatatan di stasiun y tak konsisten dan perlu dikoreksi. Koreksi dilakukan dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan kemiringan setelah dan sebelum kurva patah (Triatmodjo, 2008, p.40).



Gambar 2.1. Lengkung Masa Ganda
Sumber: Soemarto, C.D. (1987, p. 39)

2.4.2.2 Analisis RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

Pengujian data debit dengan RAPS ini bertujuan untuk menguji kepanggaan data debit berdasarkan data dari stasiun itu sendiri. Dalam uji konsistensi dengan RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) yang dilakukan pada data debit ini ditunjukkan dengan nilai kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} S^*_0 &= 0 \\ S^*_k &= \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \text{ dengan nilai } k = 1, 2, 3, \dots, n \\ S^{**}_k &= \frac{S^*_k}{D_y} \dots\dots\dots (2-5) \end{aligned}$$

$$D_y = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n} \dots\dots\dots (2-6)$$

dengan :

S^*_k = nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata

Y_i = nilai data Y ke- i

\bar{Y} = Y rata-rata

n = jumlah data Y

S^{**}_k = Rescaled Adjustes Partial Sums

D_y = standar deviasi dari data Y

Nilai statistik Q dan R :

$Q = \text{maks } |S^{**}_k| \text{ untuk } 0 \leq k \leq n$

$R = \text{maks } S^{**}_k - \text{min } S^{**}_k$

Dengan melihat statistik di atas maka dapat dicari nilai Q/\sqrt{n} hitung dan R/\sqrt{n} hitung. Hasil yang didapat dibandingkan dengan nilai Q/\sqrt{n} kritis dan R/\sqrt{n} kritis, jika lebih kecil maka data masih dalam batasan konsisten.

2.4.3 Uji Statistik

2.4.3.1 Uji Ketidadaan *Trend*

Deret berkala yang nilainya menunjukkan gerakan berjangka panjang dan memiliki kecenderungan menuju satu arah, arah naik atau turun disebut dengan suatu pola atau *trend*. Gerakan tersebut umumnya meliputi lebih dari 10 tahun. Deret berkala dengan panjang data kurang dari 10 tahun terkadang sulit untuk menentukan gerakan trendnya. Apabila dalam deret berkala menunjukkan adanya *trend* maka datanya tidak disarankan untuk digunakan untuk beberapa analisis hidrologi. Apabila deret berkala itu menunjukkan adanya trend, maka analisis hidrologi harus mengikuti garis *trend* yang dihasilkan.

Ketiadaan *trend* dapat diuji dengan berbagai cara. Secara visual dapat ditentukan dengan menggambarkan deret berkala dalam kertas grafik aritmatik. Beberapa metode statistik yang dapat digunakan untuk menguji ketiadaan *trend* dalam deret berkala antara lain: korelasi peringkat metode Spearman, Mann dan Whitney, serta Tanda dari Cox dan Stuart. (Soewarno, 1995, p.85)

Berikut merupakan cara menghitung nilai KP (koefisien korelasi peringkat dari Spearman):

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n} \dots\dots\dots (2-7)$$

$$t = KP \left[\frac{n-2}{1-KP^2} \right]^{0,5} \dots\dots\dots (2-8)$$

Keterangan:

KP = koefisien korelasi peringkat dari Spearman

n = jumlah data

dt = $R_t - T_t$

T_t = peringkat dari waktu

R_t = peringkat dari variabel hidrologi dalam deret berkala

t = nilai distribusi t, pada derajat kebebasan (n-2) untuk derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5%)

2.4.3.2 Uji Stasioner

Deret berkala disebut stasioner apabila nilai dari parameter statistiknya (rata-rata dan varian) relatif tidak berubah dari bagian periode atau runtun waktu yang ada. Namun jika ditemukan salah satu parameter statistiknya berubah dari bagian periode atau runtun waktu yang ada maka deret berkala tersebut tidak stasioner. Deret berkala tidak stasioner menunjukkan bahwa datanya tidak homogen atau tidak sama jenis.

Apabila data deret berkala tidak menunjukkan adanya *trend* atau menunjukkan stasioner, maka dilanjutkan dengan kestabilan nilai varian dan rata-ratanya (Soewarno, 1995, p.96).

- Uji Kestabilan Varian

$$F = \frac{N_1 \cdot S_1^2 (N_2 - 1)}{N_2 \cdot S_2^2 (N_1 - 1)} \dots\dots\dots (2-9)$$

dengan :

F = nilai hitung uji F

N_1 = jumlah data kelompok 1

N_2 = jumlah data kelompok 2

S_1 = standar deviasi data kelompok 1

S_2 = standar deviasi data kelompok 2

dengan derajat bebas (dk) :

$$dk_1 = N_1 - 1$$

$$dk_2 = N_2 - 1$$

Hipotesa nol untuk parameter statistik data adalah stasioner, sebaliknya hipotesa tidak sama dengan satu untuk parameter statistik data tidak stasioner. Untuk hasil pengujian hipotesa nol ditolak, berarti nilai varian tidak stabil atau tidak homogen. Deret berkala yang nilai variannya tidak homogen berarti deret berkala tidak stasioner dan tidak perlu melakukan pengujian lanjutan (Soewarno, 1995, p.96).

- Uji Stabilitas Rata-rata

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\sigma = \left(\frac{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2-11)$$

dengan :

t = nilai hitung uji t

N_1 = jumlah data kelompok 1

N_2 = jumlah data kelompok 2

\bar{X}_1 = nilai rata-rata data kelompok 1

\bar{X}_2 = nilai rata-rata data kelompok 2

S_1 = Standar Deviasi data kelompok 1

S_2 = Standar Deviasi data kelompok 2

Dengan derajat bebas $dk = N_1 + N_2 - 2$

2.4.3.3 Uji Persistensi

Anggapan bahwa data berasal dari sampel acak harus diuji, yang umumnya merupakan syarat dalam analisis distribusi peluang. Persistensi adalah ketidaktergantungan dari setiap nilai deret berkala. Untuk melaksanakan pengujian persistensi harus dihitung besarnya koefisien korelasi serial. Salah satu metode untuk

menentukan koefisien korelasi serial adalah dengan metode Spearman. Koefisien korelasi serial metode Spearman dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$KS = 1 - \frac{(6 \times \sum_{i=1}^n di^2)}{(m^3 - m)} \dots\dots\dots (2-12)$$

$$t = KS \left[\frac{m-2}{1-KS^2} \right]^{0,5} \dots\dots\dots (2-13)$$

Keterangan:

KS = koefisien Spearman

n = jumlah data

di = perbedaan nilai antara peringkat data ke X, dan ke $X_i + 1$

t = nilai dari distribusi t pada derajat kebebasan $m-2$ dan derajat kepercayaan tertentu (umumnya 5% ditolak, atau 95% diterima)

2.4.3.4 Uji Outlier

Data curah hujan maksimum tahunan yang diperoleh sebelum dilakukan analisis distribusi harus dilakukan uji abnormalitas. Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah data maksimum dan minimum dari rangkaian data yang ada layak digunakan atau tidak. Adapun langkah perhitungannya sebagai berikut:

1. Data diurutkan dari besar ke kecil atau sebaliknya (X)
2. Menghitung harga $Y = \text{Log } X$
3. Menghitung Y_{rerata}
4. Menghitung Standar Deviasi S_y
5. Menentukan harga Kn sesuai jumlah data
6. Menghitung batas atas dan batas bawah harga abnormalitas data dengan rumus:

$$Y_H = Y_{rerata} + Kn . Sd$$

$$X_H = 10^{Y_H}$$

$$Y_L = Y_{rerata} - Kn . Sd$$

$$X_L = 10^{Y_L}$$

7. Menentukan data yang dapat dipakai atau tidak dapat dipakai sesuai dengan batas atas dan batas bawah abnormalitas data.

Data yang nilainya di bawah X_L diklasifikasikan sebagai outlier bawah dan yang nilainya di atas X_H dikategorikan outlier atas. Dalam perhitungan hujan rencana outlier bawah langsung dibuang dan outlier atas harus dipertimbangkan jika akan membuangnya.

2.5 Analisa Curah Hujan Rerata Daerah

Dalam keperluan analisa data hujan pada suatu wilayah dibutuhkan data hujan rerata daerah aliran. Data pengukuran curah hujan dari satu stasiun hujan hanya mampu menghasilkan data yang merepresentasikan hujan pada satu areal hujan tertentu. Oleh karena itu pada analisa data hujan secara umum diperkirakan dengan interpolasi atau mengambil rerata dari beberapa stasiun penakar hujan. Berikut merupakan cara-cara yang digunakan untuk menghitung curah hujan rerata daerah:

2.5.1 Metode Poligon Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun hujan mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun. Pembentukan poligon Thiessen adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2008, p.33-34):

- a. Stasiun pencatat hujan digambarkan pada peta DAS yang ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang berdekatan.
- b. Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus (garis terputus) sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang kira-kira sama.
- c. Dibuat garis berat pada sisi-sisi segitiga dengan garis penuh.
- d. Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon. Untuk stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas DAS membentuk batas tertutup dari poligon.
- e. Luas tiap poligon diukur dan kemudian dikalikan dengan kedalaman hujan di stasiun yang berada di dalam poligon.
- f. Jumlah dari hitungan pada butir e untuk semua stasiun dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan hujan rerata daerah tersebut, yang dalam bentuk matematik mempunyai bentuk berikut ini.

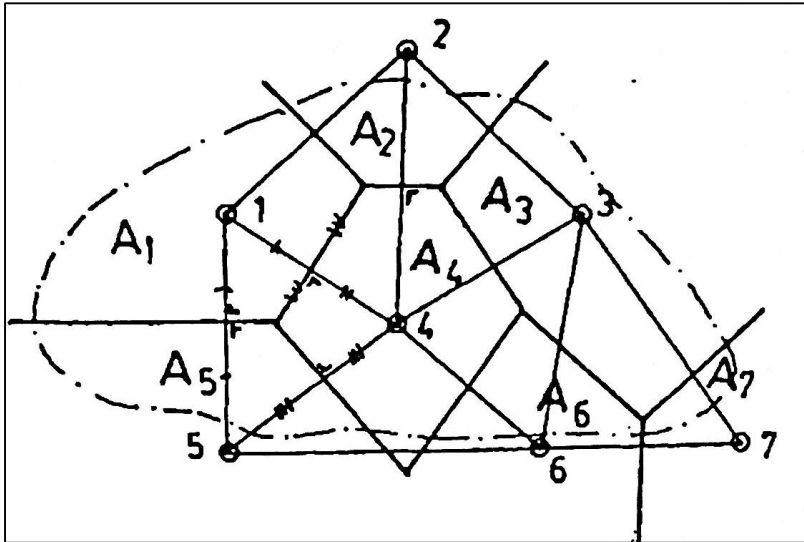
$$d = \frac{A_1 \cdot d_1 + A_2 \cdot d_2 + \dots + A_n \cdot d_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots(2-14)$$

dengan:

d = tinggi curah hujan rerata daerah (mm)

d_1, d_2, \dots, d_n = tinggi curah hujan pada pos 1, 2, ..., n (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah yang mewakili pos 1, 2, ..., n (m^2)



Gambar 2.2 Analisa Curah Hujan Rerata Daerah dengan Polygon Thiessen
Sumber: Soemarto, C.D. (1987, p. 32)

2.5.2 Metode Rerata Hitung

Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam hitungan biasanya adalah yang berada di dalam DAS; tetapi stasiun di luar DAS yang masih berdekatan juga dapat diperhitungkan.

Metode ini dapat digunakan apabila hujan rerata tahunan stasiun yang datanya hilang kurang dari 10% dari hujan rerata tahunan stasiun di sekitarnya, stasiun hujan acuan sedikitnya berjumlah tiga stasiun, dan lokasi acuan tersebar secara merata di sekitar stasiun yang hilang datanya. Metode rerata aritmatik untuk estimasi data hujan hilang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_x = \frac{1}{n} (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) \dots \dots \dots (2-15)$$

Dengan:

P_x = tinggi hujan rerata daerah (mm)

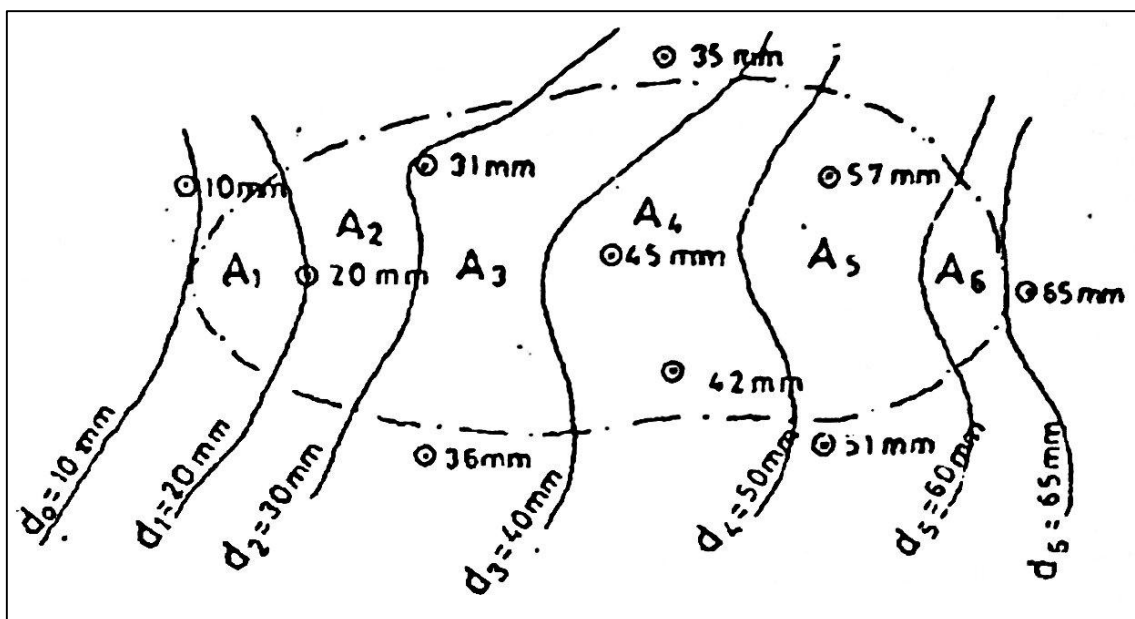
n = jumlah stasiun hujan di sekitar stasiun x

P_1, P_2, P_3 = tinggi hujan yang diketahui di stasiun 1, 2, dan 3 (mm)

2.5.3 Metode Isohyet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah di antara dua garis isohyet adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohyet tersebut. Pembuatan garis isohyet dilakukan dengan prosedur berikut ini (Triatmdjo, 2008, p.35-36):

- Lokasi stasiun hujan dan kedalaman hujan digambarkan pada peta daerah yang ditinjau.
- Dari nilai kedalaman hujan di stasiun yang berdampingan dibuat interpolasi dengan pertambahan nilai yang ditetapkan.
- Dibuat kurva yang menghubungkan titik-titik interpolasi yang mempunyai kedalaman hujan yang sama. Ketelitian tergantung pada pembuatan garis isohyet dan intervalnya.
- Diukur luas daerah antara dua isohyet yang berurutan dan kemudian dikalikan dengan nilai rerata dari nilai kedua garis isohyet.



Gambar 2.3 Analisa Curah Hujan Rerata Daerah dengan Isohyet

Sumber: Soemarto, C.D. (1987, p.34)

- Jumlah dari hitungan pada butir d untuk seluruh garis isohyet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan kedalaman hujan rerata daerah tersebut. Secara matematis curah hujan rerata tersebut dapat ditulis:

$$\bar{d} = \frac{\frac{d_0 + d_1}{2} \cdot A_1 + \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot A_2 + \dots + \frac{d_{n+1} + d_n}{2} \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad \text{.....(2-16)}$$

dengan:

d = tinggi curah hujan rerata daerah (mm)

A_1, A_2, A_n = luas bagian areal yang dibatasi oleh isohyet-isohyet yang bersangkutan (m^2)

d_1, d_2, d_n = curah hujan pada isohyets 1,2,... n (mm)

Metode ini merupakan metode yang paling teliti, tetapi membutuhkan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat guna memungkinkan untuk membuat garis-garis isohyet. Pada waktu menggambar garis-garis isohyet sebaiknya juga meninjau pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan.

2.6 Analisa Kerapatan Jaringan Pos Hujan dan Pos Duga Air

2.6.1 Pedoman WMO (*World Meteorological Organization*)

Pada umumnya daerah hujan yang terjadi lebih luas dibandingkan dengan daerah hujan yang diwakili oleh stasiun penakar hujan atau sebaliknya, maka dengan memperhatikan pertimbangan ekonomi, topografi dan lain-lain harus ditempatkan stasiun hujan dengan kerapatan optimal yang bisa memberikan data dengan baik untuk analisis selanjutnya. Untuk tujuan ini, Badan Meteorologi Dunia atau WMO (*World Meteorological Organization*) menyarankan kerapatan minimum jaringan stasiun hujan sebagai berikut (Linsley, 1986):

Tabel 2.1 Kerapatan Minimum Pos Hujan yang Direkomendasikan WMO

No	Tipe Wilayah	Luas Daerah (km^2) untuk Satu Pos Hujan	
		Kondisi Normal	Kondisi Sulit
1.	Wilayah dataran tropis mediteran dan sedang	600-900	900-3000
2.	Wilayah pegunungan tropis mediteran dan sedang	100-250	250-1000
	Kepulauan-kepulauan kecil bergunung dengan curah hujan bervariasi	25	
3.	Mintakat arid dan kutub	1500-10000	

Sumber: Seyhan (1977, p. 40)

WMO juga mensyaratkan kerapatan minimum jaringan pos hidrometri. Pengertian hidrometri mencakup pengetahuan mengenai pengukuran dan pengolahan data aliran sungai yang salah satu di dalamnya terdapat pengukuran tinggi muka air (pos duga air). Berikut pada Tabel 2.2 merupakan kerapatan minimum yang disyaratkan WMO pada pos hidrometri:

Tabel 2.2 Kerapatan Minimum Jaringan Pos Hidrometri yang Direkomendasikan WMO

No	Tipe Wilayah	Luas Daerah (km ²) untuk Satu Pos Hujan	
		Kondisi Normal	Kondisi Sulit
1.	Wilayah dataran tropis mediteran dan sedang	1000-2500	3000-10000
2.	Wilayah pegunungan tropis mediteran dan sedang Kepulauan-kepulauan kecil bergunung dengan curah hujan bervariasi	300-1000	1000-5000
3.	Mintakat arid dan kutub	5000-20000	

Sumber: Seyhan (1977, p. 197)

2.6.2 Metode *Stepwise*

Regresi *Stepwise* adalah salah satu metode untuk mendapatkan model terbaik dari sebuah analisis regresi. Secara definisi, metode ini adalah gabungan antara metode *forward* dan *backward*, variabel yang pertama kali masuk adalah variabel yang korelasinya tertinggi dan signifikan dengan variabel terikat, variabel yang masuk kedua adalah variabel yang korelasi parsialnya tertinggi dan masih signifikan, setelah variabel tertentu masuk ke dalam model, maka variabel lain yang ada di dalam model dievaluasi, jika ada variabel yang tidak signifikan, maka variabel tersebut dikeluarkan (Yamin, 2011, p.167).

Dalam studi ini, metode *stepwise* digunakan terhadap data hujan dari pos-pos hujan sebagai variabel bebas dan data debit sebagai variabel terikat dalam satu Sub DAS. Pada metode *Stepwise* akan dilakukan penambahan dan pengeluaran variabel-variabel secara tunggal ke model regresi untuk mendapatkan model regresi terbaik.

2.6.2.1 Analisa-analisa pada Metode *Stepwise*

Berikut merupakan analisa-analisa yang diperlukan dalam regresi *Stepwise*:

1. Analisa Regresi Linier Berganda

Pada analisis regresi linier ini dikatakan berganda apabila variabel bebas yang dimasukkan lebih dari satu. Analisis ini untuk meramalkan variabel terikat (data debit) apabila variabel bebas (data hujan setiap pos-pos hujan) dinaikkan atau diturunkan. Untuk melakukan peramalan maka dibuatlah persamaan sebagai berikut:

$$Y' = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \dots\dots\dots(2-17)$$

Keterangan:

Y' = variabel terikat (debit) yang diramalkan

b_0 = konstanta

b_1, b_2, \dots, b_n = koefisien regresi

X_1, X_2, \dots, X_n = variabel bebas (hujan)

Berdasarkan *output* pada SPSS, yang digunakan untuk membuat persamaan garis regresinya adalah besaran koefisien yang dapat dilihat pada tabel *Coefficients* (kolom *Unstandardized Coefficients B*).

2. Uji F

Uji ini digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara serentak terhadap variabel terikat, apakah pengaruhnya signifikan atau tidak. Berikut tahap pengujiannya:

a. Menentukan hipotesis nol dan hipotesis alternatif

- H_0 : artinya variabel bebas secara serentak tidak berpengaruh terhadap variabel terikat
- H_a : artinya variabel bebas secara serentak berpengaruh terhadap variabel terikat

b. Menentukan taraf signifikansi yaitu 0,05

c. Menentukan F hitung dan F kritis (tabel)

- F hitung dapat dilihat pada tabel ANOVA
- F kritis dapat dicari pada tabel statistik pada signifikansi 0,05

d. Pengambilan keputusan

- F hitung $>$ F kritis maka H_0 ditolak
- F hitung \leq F kritis maka H_0 diterima

3. Uji T

Uji t diperlukan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara parsial terhadap variabel terikat, apakah pengaruhnya signifikan atau tidak. Berikut tahap pengujiannya:

a. Menentukan hipotesis nol dan hipotesis alternatif

- H_0 : artinya variabel bebas tidak berpengaruh terhadap variabel terikat
- H_a : artinya variabel bebas berpengaruh terhadap variabel terikat

b. Menentukan taraf signifikansi yaitu 0,05

c. Menentukan t hitung dan t kritis (tabel)

- t hitung dapat dilihat pada tabel *Coefficients*
- t kritis dapat dicari pada tabel statistik pada signifikansi 0,05/2 (uji dua sisi)

d. Pengambilan keputusan

- t hitung $>$ t kritis maka H_0 ditolak

- $t_{hitung} \leq t_{kritis}$ maka H_0 diterima

4. Analisis Koefisien Determinasi

Analisis koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengetahui seberapa besar persentase sumbangan pengaruh variabel bebas secara serentak terhadap variabel terikat. Hasil R^2 (*Adjusted R Square*) dapat dilihat pada tabel *Model Summary*

5. Uji Asumsi Klasik

a. Uji Normalitas Residual

Uji normalitas digunakan untuk menguji apakah nilai residual yang dihasilkan dari regresi terdistribusi secara normal atau tidak. Metode yang dapat digunakan adalah metode grafik dan uji *One Sample Kolmogorof-Smirnov* (Priyatno, 2014, p.90).

➤ Metode Grafik

Uji normalitas residual dengan metode grafik yaitu dengan melihat penyebaran data pada sumbu diagonal pada grafik *Normal P-P Plot of regression standardized residual*. Kriteria pengambilan keputusan adalah jika titik-titik menyebar di sekitar garis dan mengikuti garis diagonal, maka model regresi memenuhi asumsi normalitas. Untuk membuat metode grafik dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi SPSS dengan cara berikut:

- Klik *Analyze* → *Regression* → *Linear*
- Pada kotak dialog *Linear Regression* masukkan masing-masing variabel bebas dan terikatnya
- Klik tombol *Plots*
- Beri centang pada *Normal probability plot*, kemudian klik *Continue*
- Setelah kembali ke kotak dialog sebelumnya maka klik OK

➤ Metode Uji *One Sample Kolmogorof-Smirnov*

Uji *One Sample Kolmogorof-Smirnov* untuk mengetahui apakah distribusi residual terdistribusi normal atau tidak. Residual berdistribusi normal apabila nilai signifikansinya lebih dari 0,05. Uji kolmogorof-smirnov didefinisikan sebagai berikut (Suharjo, 2013:214):

$$D = \max_{1 \leq i \leq N} \left(F(Y_i) - \frac{i-1}{N}, \frac{i}{N} - F(Y_i) \right) \dots\dots\dots (2-18)$$

dengan:

F = distribusi kumulatif teoritik dari distribusi data yang di uji yaitu normal

dari data.

N = jumlah data

b. Uji Multikolinearitas

Uji asumsi multikolinearitas digunakan untuk membuktikan atau menguji ada tidaknya hubungan yang linear antara variabel bebas satu dengan variabel bebas lainnya. Dalam analisis regresi ganda, akan terdapat dua atau lebih variabel bebas yang diduga akan mempengaruhi variabel terikatnya. Pendugaan tersebut akan dipertanggungjawabkan apabila tidak terjadi adanya hubungan yang linear (multikolinearitas). Adanya hubungan yang linear antar variabel bebas akan menimbulkan kesulitan dalam memisahkan pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap variabel terikatnya. (Sudarmato, 2005, p.137).

Untuk mendeteksi ada tidaknya multikolinearitas dengan melihat nilai *Tolerance* dan VIF. Semakin kecil nilai *Tolerance* dan semakin besar nilai VIF maka semakin mendekati terjadinya masalah multikolinearitas. Umumnya pada penelitian menyebutkan bahwa jika *Tolerance* lebih dari 0,1 dan VIF kurang dari 10 maka tidak terjadi multikolinearitas. Untuk persamaan yang digunakan ada uji multikolinearitas adalah sebagai berikut (Suharjo, 2013, p.119):

$$Tolerance = 1 - R_h^2$$

$$VIF(X_h) = \frac{1}{1 - R_h^2} \dots\dots\dots (2-19)$$

dengan:

X_h = variabel bebas

R_h^2 = korelasi kuadrat dari X_h dengan variabel bebas lainnya

c. Uji Autokorelasi

Autokorelasi dimaksudkan untuk mengetahui apakah terjadi korelasi di antara data pengamatan atau tidak yang disusun menurut runtutan waktu. Adanya autokorelasi dapat mengakibatkan varian sampel tidak dapat menggambarkan varian populasinya (Priyatno, 2013, p.75).

Untuk mendeteksi ada tidaknya autokorelasi dalam penelitian menggunakan uji Durbin Watson. Apabila nilai statistik Durbin-Watson mendekati angka 2 maka dapat dinyatakan bahwa data pengamatan tersebut tidak memiliki autokorelasi, dalam sebaliknya maka dinyatakan terjadi autokorelasi.

d. Uji Heteroskedastisitas

Uji ini digunakan untuk mengecek apakah variasi residual sama atau tidak untuk sebuah pengamatan. Heteroskedastisitas menyebabkan penaksir atau estimator menjadi tidak efisien dan nilai koefisien determinasi akan menjadi sangat tinggi.

- Metode Grafik

Metode grafik dilakukan dengan melihat pola *scatterplot* dengan dasar kriteria dalam pengambilan keputusan yaitu:

- Jika ada pola tertentu seperti titik-titik yang ada membentuk suatu pola yang jelas, maka terjadi heteroskedastisitas
- Jika titik-titik menyebar dengan pola yang tidak jelas di atas dan dibawah angka 0 pada sumbu Y, maka tidak terjadi masalah heteroskedastisitas (Priyatno, 2014, p.113).

Metode grafik dapat dibuat dengan langkah-langkah berikut:

- Klik *Analyze* → *Regression* → *Linear*
- Kotak dialog *Linear Regression* akan muncul, dan masukkan masing-masing variabel bebas dan terikat ke dalam kotak
- Klik tombol *Plots*
- Klik **SRESID (Studentized Residual)* dan masukkan ke kotak Y, kemudian klik **ZPRED (Standardized Predicted Value)* dan masukkan ke kotak X. Kemudian klik tombol *Continue* untuk kembali ke kotak dialog sebelumnya
- Klik OK

2.6.2.2 Output Metode Stepwise

Output yang dihasilkan dari analisis regresi *stepwise* adalah sebagai berikut:

a. Output Variabel Entered/ Removed

Tabel *Variabel Entered Removed* menunjukkan metode regresi linier yang dipilih, yaitu *Stepwise*. Metode *Stepwise* memasukkan satu per satu variabel bebas untuk dianalisis. Dari *output* yang dihasilkan akan diperoleh variabel bebas yang masuk ke dalam model dan variabel mana yang dikeluarkan.

b. Output Model Summary

Tabel *Model Summary* menunjukkan nilai koefisien korelasi (R) untuk beberapa model.

- R adalah korelasi berganda, yaitu korelasi antara dua atau lebih variabel bebas dan variabel terikat. Nilai R berkisar 0 sampai 1. Jika mendekati 1 maka hubungan semakin erat, tetapi jika mendekati 0 maka hubungan semakin lemah. (Priyatno, 2014, p.155)
- *R Square* (R^2) artinya menunjukkan koefisien determinasi. Angka ini akan diubah ke bentuk persen, yang artinya persentase sumbangan pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat.
- *Adjusted R Square*, adalah *R Square* yang telah disesuaikan. Biasanya untuk mengukur sumbangan pengaruh jika dalam regresi menggunakan lebih dari dua variabel bebas.
- *Standard Error of the Estimate* adalah ukuran kesalahan prediksi.
- Durbin-Watson yaitu nilai yang menunjukkan ada atau tidaknya autokorelasi dalam model regresi. Autokorelasi adalah hubungan yang terjadi antara residual dari pengamatan satu dengan pengamatan yang lain. Model regresi yang baik adalah yang tidak terjadi autokorelasi. Untuk mendeteksi ada tidaknya autokorelasi adalah dengan melihat nilai Durbin-Watson, apabila nilainya mendekati 2 maka tidak terjadi autokorelasi.

c. *Output ANOVA*

ANOVA atau analisis varian adalah uji koefisien regresi secara bersama-sama (uji F) untuk menguji signifikansi pengaruh beberapa variabel bebas terhadap variabel terikat. Pengujian menggunakan tingkat signifikansi 0,05.

d. *Output Coefficients*

- *Unstandardized Coefficients* adalah koefisien yang tidak terstandarisasi atau tidak ada patokan, nilai ini menggunakan satuan yang digunakan pada data pada variabel terikat. Koefisien B terdiri nilai konstan (harga Y jika X_1 dan $X_2 = 0$) dan koefisien regresi (nilai yang menunjukkan peningkatan atau penurunan variabel Y yang didasarkan variabel X_1 dan X_2), nilai-nilai inilah yang masuk dalam persamaan regresi linier berganda. Sedangkan *Standar Error* adalah nilai maksimum kesalahan yang dapat terjadi dalam memperkirakan rata-rata populasi berdasar sampel. Nilai ini digunakan untuk mencari t hitung dengan cara koefisien dibagi *standard error*.
- *Standardized Coefficients* adalah nilai koefisien yang telah terstandarisasi atau ada patokan tertentu, nilai koefisien Beta semakin mendekati 0 maka hubungan antara variabel X dengan Y semakin lemah.

- T hitung adalah pengujian signifikansi untuk mengetahui pengaruh variabel X1 dan X2 terhadap Y secara parsial, apakah berpengaruh signifikan atau tidak. Untuk mengetahui hasil signifikan atau tidak dilihat dari perbandingan t hitung dan t tabel.
- Signifikansi adalah besarnya probabilitas atau peluang untuk memperoleh kesalahan dalam mengambil keputusan. Jika pengujian menggunakan tingkat signifikansi 0,05 artinya peluang memperoleh kesalahan adalah maksimal 5%. Dengan kata lain kita percaya bahwa 95% keputusan adalah benar.
- *Collinearity Statistics* adalah angka yang menunjukkan ada tidaknya hubungan linier secara sempurna atau mendekati sempurna antar variabel bebas dalam model regresi, dengan menggunakan nilai *Tolerance* dan VIF. Asumsi klasik yang digunakan pada model regresi berganda yaitu tidak adanya multikolinearitas antar variabel bebas. Variabel yang menyebabkan multikolinearitas dapat dilihat dari nilai *tolerance* yang lebih kecil dari 0,1 atau VIF yang lebih besar dari 10 (Hair et al. 1992 dalam Priyatno, 2014, p.159).

e. *Output Exclude Variable*

Tabel *Exclude Variable* memaparkan variabel bebas yang dikeluarkan dari model.

f. *Output Residuals Statistics*

Output ini menggambarkan tentang minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi, dan jumlah data dari residual.

g. *Output Scatterplot*

Penggunaan output ini adalah untuk mengetahui ada atau tidaknya penyimpangan asumsi klasik, yaitu heteroskedastisitas. Heteroskedastisitas adalah varian residual yang tidak sama pada semua pengamatan di dalam model regresi.

2.6.3 Metode *Stepwise-Enter*

Metode *Stepwise-Enter* merupakan pemodelan regresi linear dengan metode *Enter* yang dilakukan berdasarkan prinsip pengambilan keputusan pada metode *Stepwise*. Metode ini dilakukan dengan cara mencari nilai korelasi parsial pada masing-masing variabel bebas (pos hujan) terhadap variabel terikat (pos duga air). Pos hujan yang memiliki korelasi parsial tertinggi diurutkan untuk selanjutnya dilakukan korelasi secara simultan hingga mendapatkan korelasi yang tertinggi.

Suatu pemodelan regresi biasanya dapat menghasilkan korelasi sempurna yaitu sebesar 1,00. Apabila dalam pemodelan regresi pada metode ini telah menghasilkan nilai 1,00 maka pemodelan dapat dihentikan.

Penjelasan mengenai *output* dan analisa pada metode *Stepwise-Enter* tidak jauh berbeda dengan metode *Stepwise*. Hal ini dikarenakan kedua metode tersebut merupakan metode yang sama-sama digunakan dalam pemodelan regresi linear. Pemodelan regresi dengan metode *Stepwise-Enter* juga yang dilakukan dengan bantuan *software IBM Statistics SPSS 21*.

Pada analisa pemodelan regresi dengan metode *Stepwise-Enter* juga dilakukan uji asumsi klasik yang bertujuan untuk memastikan bahwa hasil regresi tidak bias dan dapat dipercaya. Uji asumsi klasik tersebut antara lain:

a. Uji Normalitas Residual

Uji normalitas pada studi ini digunakan untuk menguji nilai residual yang dihasilkan dari regresi terdistribusi secara normal atau tidak. Hal tersebut bertujuan agar hasil regresi tidak bias dan dapat dipercaya.

b. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas pada studi ini digunakan dalam membuktikan ada atau tidaknya hubungan linear dari variabel bebas satu terhadap variabel bebas lainnya. Pada umumnya penelitian menyebutkan bahwa apabila nilai *Tolerance* lebih dari 0,1 dan VIF kurang dari 10 maka hasil regresi tidak terjadi multikolinearitas.

c. Uji Autokorelasi

Autokorelasi dimaksudkan untuk mengetahui ada tidaknya korelasi di antara data pengamatan yang disusun berdasarkan runtutan waktu. Terjadinya autokorelasi dapat menyebabkan varian sampel tidak dapat menggambarkan varian populasinya (Priyatno, 2013, p.75). Untuk mendeteksi ada tidaknya autokorelasi dalam penelitian menggunakan nilai uji Durbin Watson.

d. Uji Heteroskedastisitas

Uji ini digunakan menguji apakah variasi residual sama atau tidak pada sebuah pengamatan. Heteroskedastisitas menyebabkan nilai penaksir atau estimator tidak efisien dan nilai koefisien determinasi menjadi sangat tinggi. Uji heteroskedastisitas dapat dideteksi dengan melihat sebaran titik atau plot pada *scatterplot* antara *regression standardized residual* dan *regression standardized predicted value*.